

本特征。电子地图是导航、计算机图形学、数据库、地理信息系统等技术的综合应用,它把地理位置和相关的属性有机结合起来,根据实际需要准确、真实、图文并茂地输出给用户,满足用户对空间信息的要求,可安装在移动目标上,也可用于目标跟踪。

电子地图开发一般采用集成二次开发方式,利用专业的 GIS 工具软件,如 ArcView、MapInfo 等,实现 GIS 的基本功能,以通用软件开发工具尤其是可视化开发工具,如 Delphi、Visual Basic 等为开发平台,进行二者的集成开发。如用 GIS 控件方式:就是利用 GIS 工具软件生产厂家提供的建立在 OCX 技术基础上的 GIS 功能控件,如 MapInfo 公司的 MapX 等,在 Delphi 等编程工具编制的应用程序中,直接将 GIS 功能嵌入其中,实现地理信息系统的各种功能。

## 5 结束语

该系统目前正在油田等地区广泛推广使用并已取得较好的成效。它集成了 GPS、电子地图和通信技术等高科技技术,并且系

统实时性较高,可移植性好。经测试,车载端操作方便,性能稳定,运行效果良好,车辆实际的行车路线与电子地图上显示的路线十分吻合。该系统的成功开发为交通管理部门实时制订出合理的交通指挥计划提供了有效的解决方案。

### 参考文献

- [1] 邓晖等. GPS/GIS/GSM 技术在特种服务车辆监控中的应用. 电子技术, 2001.7
- [2] 刘基余等. 全球定位系统原理及其应用. 测绘出版社, 1993
- [3] Presidential Decision Nears on GPS Policy News Front, GPS World, 1996.2 P16-17]

作者简介: 赵惠子 (1981-), 女, 湖北荆州人, 硕士研究生, 研究方向为计算机嵌入式系统开发; 项志华 (1978-), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机检测与控制; 徐绪忠, 男, 河南郑州市, 华北煤层气勘察开发总公司录井分公司信息中心; 李华贵 (1944-), 男, 湖北荆州人, 教授, 主要从事计算机检测与控制, 嵌入式的研究与开发工作。

文章编号 1671-1041(2007)03-0035-02

# 基于 DSP 芯片控制 AD9833 实现雷达跳频系统

尹明, 解锋, 叶晓慧

(海军工程大学 电子工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 直接数字频率合成 (DDS) 技术转换时间短, 相位变化连续, 全数字可编程等优点突出。介绍了 DDS 的基本原理及 DDS 芯片 AD9833 的结构、特点, 并利用 DSP 芯片控制 AD9833, 实现了频率合成器。给出了本设计的硬件结构与部分关键程序的流程图, 探讨了 DDS 芯片与微处理器的接口方式。

**关键词:** DDS; AD9833; 跳频; 合成频率  
**中图分类号:** TN782 **文献标识码:** A

## Implementation of the radar frequency-hopping system by applying DSP chip to control AD9833

YIN Ming, XIE Feng, YE Xiao-hui

(College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan, 430033)

**Abstract:** Direct Digital Frequency Synthesis technology (DDS) has advantages in short hopping time, continuous phase change, complete digital control program and so on. The paper introduce the basic theory of DDS chip, the structure and the trait of AD9833, the circuit of synthesize frequency is implemented by applying the DSP chip to control the AD9833. The hardware structure and the key software program is introduced, also the interface circuit of this DDS chip to microprocessor is described.

**Key Words:** DDS; AD9833; frequency-hopping; synthesize frequency

## 1 引言

在雷达系统的仿真和测试中常常需要应用频率合成技术来实现跳频信号源。频率合成是指从一个高稳定的参考频率, 经过各种技术处理生成一系列稳定的频率输出。直接数字频率合成 (DDS) 是近年发展起来的一种新的频率合成技术。它将先进的数字处理理论与方法引入频率合成领域, DDS 的优点是: 相对带宽很宽, 频率转换时间极短, 频率分辨率很高, 全数字化结构便于继承, 输出相位连续, 频率、相位和幅度均可实现程控, 因此能够与计算机紧密结合在一起, 充分发挥软件的作用。本文以 TI 公司的 TMS320C24

07A 型 DSP 作为核心处理器, 对 DDS 芯片 AD9833 进行程控从而实现合成频率的输出。

## 2 DDS 工作原理

### 2.1 DDS 原理

AD9833 中使用的 DDS 技术是从连续信号的相位出发, 将一个正弦信号取样、量化、编码, 形成一个正弦函数表储存在 ROM 中。合成时改变相位增益, 由于相位增量不同, 一个周期内的采样点数也就不同, 这样产生的正弦信号频率也就不同, 达到频率合成的效果。正弦信号是非线性的, 而其相位是线性的, 因此, 每隔一段时间  $\Delta t$  (时间周期) 有对应的相位变化, 即

$$\Delta P = \omega \Delta t = 2\pi \cdot f_0 \Delta t \quad (1)$$

所以合成的频率信号为:  $f_0 = \Delta P / (2\pi \Delta t) = (\Delta P \cdot f_m) / 2\pi$  (2)

由 (2) 式可以看出改变  $\Delta P$  就可以得到不同的  $f_0$  的值。

DDS 芯片 AD9833 原理框图如图 1 所示。



图1 DDS的原理框图

其中, 相位累加器为 28 位, 取其高 14 位作为读取正弦波储存在 ROM 的地址。每次使相位累加器的输出也即正弦 ROM 寻址地址递增频率设定数据字 K, 对应波形相位变化为:

$$\Delta P = 2\pi \cdot K / 2^{28} \quad (3)$$

因此, 改变相位累加器的设定字 K, 就可以改变相位值  $\Delta P$ , 从而改变合成频率  $f_0$ , 经简化, 合成信号频率可由下式求出:

$$f_0 = (K \cdot f_m) / 2^{28} \quad (4)$$

设参考频率是  $f_m = 25\text{MHz}$ , K 值在  $1 < K < 2^{28}$  之间。

根据 Naquist 准则, 最高输出频率可达  $0.5f_m$ 。但考虑到实际低通滤波器的限制, 我们取最高输出频率是  $0.4f_m = 10\text{MHz}$ , 满足设计要求。

### 2.2 AD9833 芯片内部结构

AD9833 内部结构如图 2 所示。它有一个 28 位相位累加器, 2 个 28 位频率寄存器 FREQ0 和 FREQ1 用于设定 K 值, 2 个 12 位相位寄存器 PHASE0, PHASE1 用于设定相位值。本文所实现的跳

收稿日期: 2006-12-21

频功能,即是通过程控切换 FREQ0 和 FREQ1 而实现的,同样,程控切换 PHASE0,PHASE1 可以实现 PSK 的调制。28 位相位累加器的输出截取高 12 位后与 12 位相位寄存器相加,构成 12 位的相位地址,去寻址正弦 ROM 表。寻址到的幅度值经 10 位 DAC 转换后成为合成正弦信号。

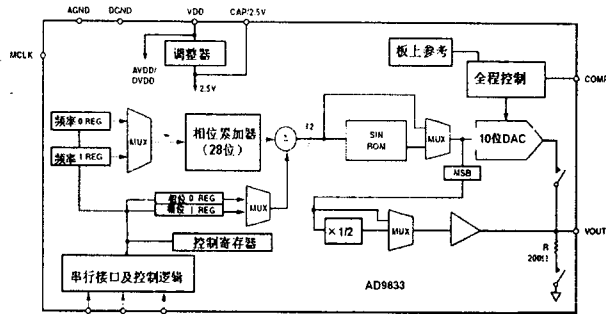


图2 AD9833内部结构框图

AD9833 有 3 根串行接口线,与 SPI、QSPI 和 DSP 接口标准兼容。在串口时钟 SCLK 的作用下,数据是以 16 位的方式加载到设备上。SPI 时序图如图 3 所示,FSYNC 引脚是使能引脚,电平触发方式,低电平有效。进行串行数据传输时,FSYNC 引脚必须置低,要注意有效到 SCLK 下降沿的建立时间的  $t_{1}$  最小值。FSYNC 引脚置低后,在 16 个 SCLK 的下降沿数据被送到 AD9833 的输入寄存器,在第 16 个 SCLK 的下降沿 FSYNC 可以被置高,但要注意在 SCLK 下降沿到 FSYNC 上升沿的数据保持时间  $t_{2}$  的最小和最大值。当然,也可以在 FSYNC 为低电平的时候,连续加载多个 16 位数据,仅在最后一个数据的第 16 个 SCLK 的下降沿时将 FSYNC 置高。

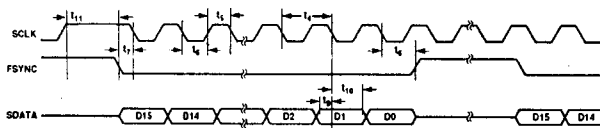


图3 SPI时序图

### 3 频率合成器的设计

#### 3.1 硬件结构

本频率合成器的设计采用 TI 公司的 TMS320CLF2407A 型 DSP 微处理器来控制两片 DDS 芯片 AD9833 产生两路独立的跳频信号源,以供雷达系统仿真和调试。DSP 芯片和 DDS 芯片的连接电路图如图 4 所示。外接参考频率信号送给 2 个 AD9833 作为主频时钟 (MCLK);DSP 的 SPICLK 和 SPISIM 接两个 AD9833 的 SCLK 和 FSYNC,作为串行时钟输入和控制使能端;而 DSP 的 SPI 口对 U1 采用主动工作方式, U2 采用从动工作方式,即用 SPISIMO 接 U1 的 SDATA 口,用 SPISOMI 接 U2 的 SDATA 口。从实际使用效果来看,该合成器工作稳定,实现了高稳定性、高精度、高分辨率的要求。

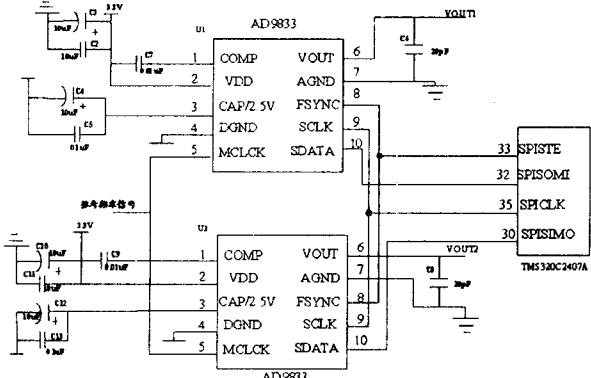


图4 TMS320CLF2407A和AD9833硬件连接图

#### 3.2 程序设计

图 5 为设计核心 AD9833 的控制字的输入部分的程序框图。整个系统的软件由汇编语言和 C 语言混合编写,主要是在完成初始化、显示等功能后,根据 AD9833 的控制字方式,通过 TMS320CLF2407A 按照 AD9833 的时序控制字写入 AD9833 的内部存储器中,从而产生相应的合成频率信号。

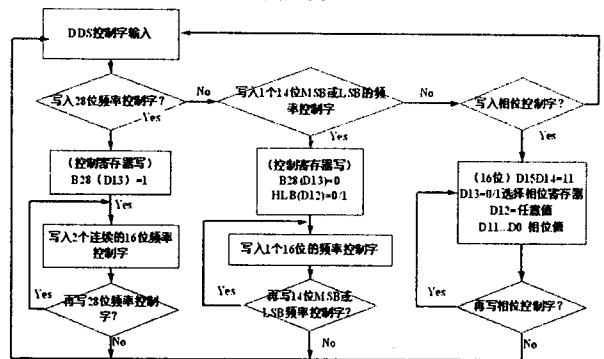


图5 AD9833 控制字输入子程序

### 4 设计中注意的几个问题

(1) 去耦:在一个电子系统中,通常是多个器件共用一个电源,而电源线给交流信号提供一个通路,使得交流信号通过电源线在器件之间传输,形成干扰。所以必须在器件之间和电源到器件之间电源线上加入滤波部分,滤掉交流干扰,成为去耦。电源的去耦通常用几个并联电容和串联电感来实现。

(2) 接地:接地可以分为单点接地和多点接地。一般认为,连线长度大于信号波长的二十分之一,应采用多点接地,反之,则采用单点接地。

在数模混和的电路中,由于数字部分干扰源很多,所以模拟部分易受影响。因此要注意把模拟地和数字地分开。一般的方法是用一根线来连接数字地和模拟地,而且只能在一处相连,这样可以较好地切断数字部分的干扰源。

(3) 充分利用 DDS 的 sweet pots:如前所述,在 DDS 中,其相位累加器的位数是 A,但是用来查询正弦表的位数只有其高 P 位,剩下的就四舍五入丢弃了,这样做会产生一种相位截断误差。但是如果相位累加器中 A-P 位恰好是 0,则其相位截断误差就为 0,其输出频点的特性就好,这就是所谓的“sweet pots”。所以在 DDS 单点输出时,使 DDS 尽量在 sweet pots 频点输出,可以达到优化输出特性的目的。

(4) 要避开 DDS 杂散较大的输出频点:在实际应用中,还有一些点的杂散信号很大,而且离主频很近,无法去除。所以应该避免输出这些频点,这些频点接近  $f_m/3, f_m/4, f_m/5 \dots$  的频点。

### 5 结论

验证证明,利用 TMS320C2407A 控制 AD9833 的频率合成器应用于雷达跳频系统具有跳频速度快、频率分辨率高、体积小、工作稳定、使用方便等优点,因此它具有很强的使用价值。另外,DDS 技术具有的灵活可编程特性使得上述结构的跳频系统还有其他的的应用,只要改变 DSP 控制程序,即可以根据需要产生相应的信号波形。

#### 参考文献

- [1] Glodberg B G.Receiving Various Techniques for Synthesizing Signals .Microwaves & RF,1996(5)
- [2] 刘和平. TMS320CLF240x DSP 结构、原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [3] JDDS AD9833.Analog Devices Data Sheet. Analog Devices Inc,2003.

作者简介:尹明(1980-),男,北京理工大学在读硕士研究生,从事电子测量技术应用研究;解锋,男,东南大学在读硕士研究生,从事电子技术仿真;叶晓慧,男,博士,教授,从事电子测量技术及仿真的研究。